

## P. I. G. PUNTOS DE INTERÉS GEOLÓGICO

### UNA ANTIGUA PLAYA EN MERIDIANI PLANUM, 2,2°S – 3,7°W, MARTE

*Tipo de interés:* Sedimentológico, paleogeográfico, exobiológico, histórico.

*Contexto geográfico:* Meridiani Planum es la denominación geográfica de la parte más septentrional de Terra Meridiani, una zona de transición entre las tierras altas y bajas de Marte (Figura 1). La cabecera de Ares Vallis, uno de los grandes canales de inundación que desembocan en Chryse Planitia, se encuentra unos 700 km al Oeste, mientras que viajando hacia el Este nos adentramos en Arabia Terra, una región de grandes cráteres dominados por el bautizado como Schiaparelli, de 500 km de diámetro.

*Acceso:* El camino más corto desde la Tierra a Marte es una órbita de las denominadas de conjunción (Figura 2), en las que los dos planetas están situados en posiciones próximas tanto en el despegue como en el regreso. El viaje durará entre seis y siete meses, dependiendo de la cantidad de combustible empleado en empujes adicionales.

Durante la travesía, los viajeros deben evitar la pérdida de masa ósea mediante ejercicios regulares y uso de sillones centrífugos que generen gravedad artificial. Los rayos cósmicos se bloquearán con materiales ricos en hidrógeno; por ejemplo, disponiendo el agua en depósitos que rodeen la zona de habitación del vehículo. Los residuos sólidos de la tripulación se convertirán en abono para cultivar trigo, que proporcionará oxígeno y pan fresco.

La llegada a la superficie marciana se efectuará mediante aerofrenado, paracaídas y retrocohetes. Al caminar desde la nave hasta los afloramientos,

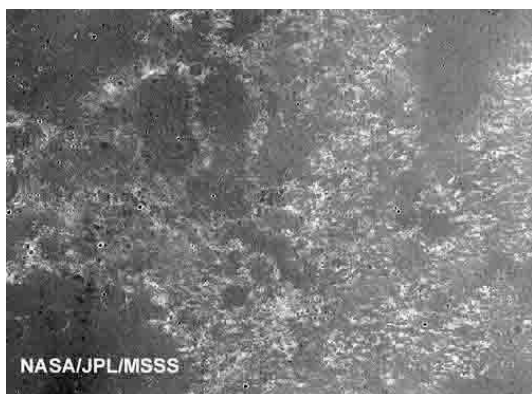


Fig. 1. La llanura de Meridiani Planum vista desde órbita. Las manchas oscuras de la zona norte son cráteres enterrados; mientras que en la parte sur se distinguen muchos impactos recientes. El PIG se encuentra en el centro de esta imagen, centrada en 2,2°S y 3,7°W.

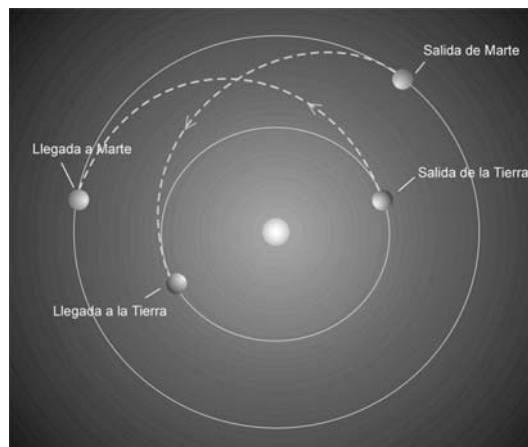


Fig. 2. Un típico viaje a Marte utilizando una órbita de conjunción.

tos, debe de tenerse en cuenta que la gravedad es sólo la tercera parte de la terrestre (38%, exactamente), por lo que la velocidad de desplazamiento es como un 60% mayor: con la energía empleada para pasear en la Tierra se puede realizar una carrera sostenida en Marte. Además, en el ejercicio se queman sólo la mitad de las calorías que en nuestro planeta, por lo cual este recorrido se puede considerar adecuado incluso para personas sedentarias.

*Contexto geológico:* En 2000, el equipo de Philip Christensen, un geólogo planetario que trabajaba en la Arizona State University, estaba estudiando datos tomados por un espectroscopio de la sonda *Mars Global Surveyor* sobre la zona de Meridiani Planum, en el ecuador de Marte. Descubrió en ellos la huella de hematitas de grano grueso, un mineral que en la Tierra se forma por precipitación en medio acuoso. La superficie cubierta por esta formación era de unos 180.000 km<sup>2</sup>, algo más de un tercio de la extensión de España. Este dato, junto a la potencia calculada, unos 300 m, indicaban unas condiciones de depósito de cierta estabilidad, tanto en el espacio como en el tiempo. La NASA seleccionó este lugar como objetivo de uno de los dos vehículos *Mars Exploration Rover* que aterrizaron en Marte a principios de 2004. El llamado *Opportunity* tomó tierra en un punto de coordenadas 2,2°S-3,7°W el 25 de Enero de aquel año.

*Descripción geológica y geoquímica:* El afloramiento (Figura 3) se halla en la pared norte del cráter Eagle, de 20 m de diámetro. Los análisis químicos (Figura 4) indicaron que las rocas eran evaporitas, con predominio de sulfatos (hasta 30% en peso) y contenidos menores pero significativos de cloruros, más trazas de bromuros. Estos rasgos químicos son típicos de sedimentos precipitados a partir de salmueras, lo que significa que probablemente estas rocas representan un cuerpo de agua evaporado. El primer mineral identificado fue la



Fig. 3. La serie sedimentaria que forma Meridiani Planum aflora en este pequeño escarpe (desnivel entre 30 y 45 cm) excavado por el impacto que creó el cráter Eagle. Si no fuese por éste (el equivalente a las trincheras de las carreteras terrestres) sólo veríamos la llanura.

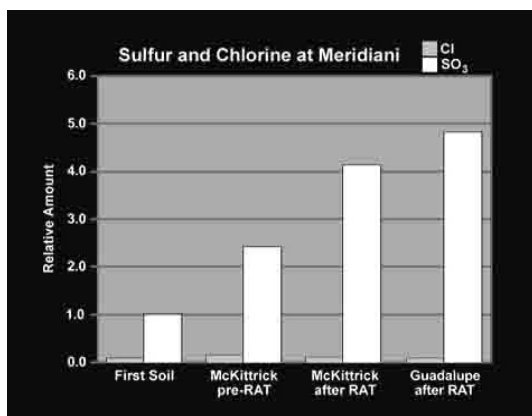


Fig. 4. Abundancia relativa de compuestos de azufre y cloro en el regolito (material suelto, primera columna) y dos rocas del afloramiento del cráter Eagle. En una de ellas se realizó el análisis antes (segunda columna) y después (tercera columna) de limpiar la superficie (con la RAT = Rock Abrasion Tool, o instrumento de abrasión). La cuarta columna presenta el máximo contenido de azufre. La detección de jarosita parecería indicar que la mayor parte del azufre está en forma de sulfatos.

jarosita, un sulfato hidratado de hierro, sodio y potasio de fórmula  $(K, Na)Fe_3(SO_4)(OH)_6$ .

**Elementos de interés:** Un primer punto, de importancia sólo histórica, es que se trató del primer afloramiento estudiado en Marte; hasta ese momento, las cuatro sondas que habían tomado tierra en aquel planeta lo habían hecho sobre zonas cubiertas por material suelto.

Diversas texturas y estructuras hacen este afloramiento digno de estudio. Las principales son:

Las rizaduras (*ripple-marks*) y la laminación cruzada (Figuras 5 y 6) indican flujo (y refluo ocasional) de una corriente de agua a pequeña velocidad, quizá entre 10 y 50 cm/s; es decir, la velocidad típica de un oleaje suave modelando un fondo somero. A partir de estas estructuras, los sedimentólogos concluyeron que la zona debió de ser una línea de playa. Combinados con los datos geoquímicos (evaporitas), estos datos permiten reconstruir la ribera de un mar o un lago salados.

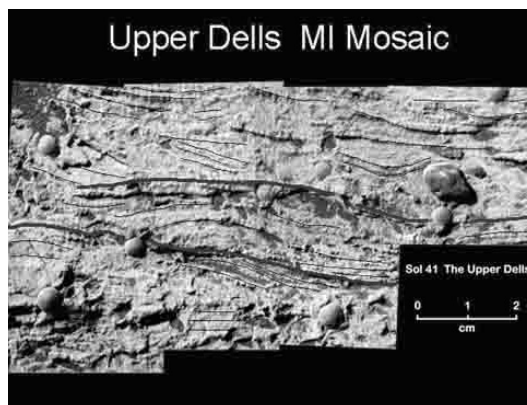


Fig. 5. Estas laminaciones curvadas (tanto convexas como cóncavas) y truncadas se interpretan como rizaduras móviles, es decir, la superficie de un sedimento removido por corrientes con flujo y reflujo. Las esférulas son de hematites (ver detalle en la Figura 8).

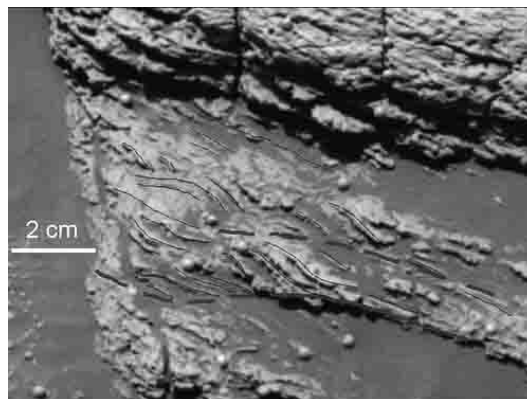


Fig. 6. En esta parte del afloramiento, la laminación cruzada indica flujo de la corriente de izquierda a derecha.

Vacuolas en forma de disco (Figura 7). Tienen hasta 1 cm de longitud y parecen las huellas dejadas por minerales disueltos o erosionados.

Esférulas de hematites (Figura 8). Están incluidas en la laminación sin deformarla, lo cual indica que son concreciones, es decir que crecieron dentro del sedimento y no fueron depositadas sobre él. Esto permitió descartar algunas de las hipótesis alternativas iniciales, como que se tratase de lapilli o





Fig. 7. Esta imagen, de unos 3 cm de anchura, muestra una gran cantidad de vacuolas discoidales. Aunque en teoría los minerales que las ocuparon podrían haber sido erosionados por el viento, lo cierto es que en el afloramiento no hay ninguna huella de desgaste eólico, por lo que la disolución parece mucho más verosímil: otra indicación de un clima húmedo.

esférulas de impacto (semejantes a las tectitas terrestres). Igual origen se deduce de las formas arrosariadas (Figura 8c). En algún caso se observa que las esférulas penetran en las vacuolas, lo que indica que son posteriores: probablemente el agua que se infiltró en los sedimentos y disolvió los cristales lenticulares fue la que causó la precipitación de las concreciones. Aunque éstas son demasiado pequeñas para permitir un análisis individual, un análisis indirecto (el análisis de una zona con esférulas menos el del sedimento) confirmó la sospecha de que están compuestas por hematites.

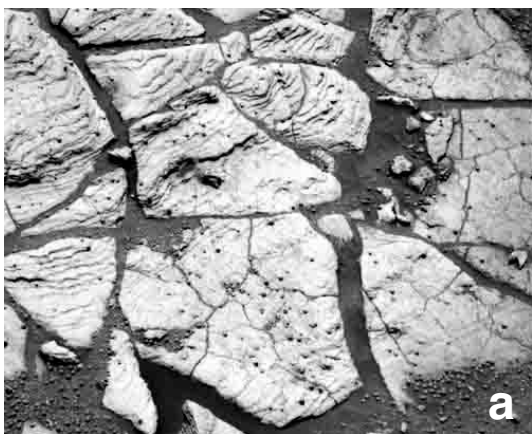


Fig. 9. El Río Tinto, en Huelva, en estiaje. Sus aguas están cargadas de hierro en disolución.

Así pues, el agua que se infiltró por estos sedimentos estaba muy cargada de hierro, lo que acentúa la similitud con algunas de las condiciones ambientales del Río Tinto, en Huelva (Figura 9), donde en aquellos años investigadores de la NASA estaban intentando encontrar análogos para las condiciones del Marte primitivo. Ahora bien, para disolver el hierro es preciso que el agua sea extre-

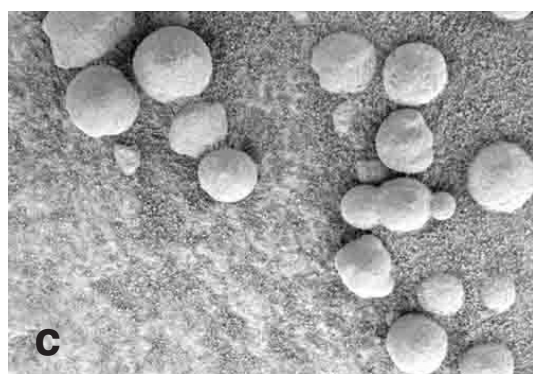


Fig. 8. a. Esférulas de hematites intercaladas en el sedimento finamente laminado. Son claramente más resistentes a la erosión, por lo que se acumulan en el regolito (parte inferior). La laminación parece suavemente deformada, probablemente por fenómenos de carga, lo que confirmaría el importante espesor de la serie sedimentaria. b. Una esférula cortando la laminación, sin deformarla. La imagen, en la que también se aprecian vacuolas discoidales, mide 15 mm de lado. c. Conjunto de esférulas, entre ellas una múltiple. En la Tierra se denominan “muñequitas del loess” a las concreciones (en general, de carbonatos) que adoptan estas formas arrosariadas.

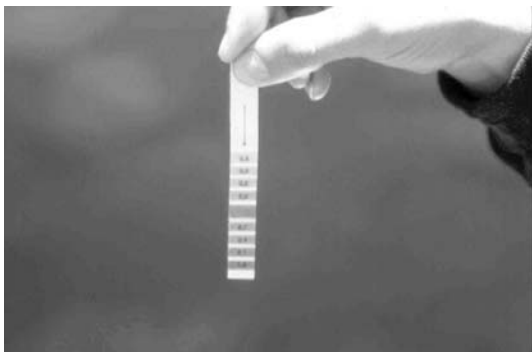


Fig. 10. Una prueba de la acidez de las aguas del Tinto: su pH en el curso medio oscila entre 2,7 y 3,0; en el curso alto no llega a 1,0.

madamente ácida (el pH del Río Tinto oscila entre 0,9 y 2,8, Figura 10). La acidez del agua marciana, deducida precisamente a partir de estos datos, resultó ser la explicación al mayor misterio geoquímico de aquel planeta, la ausencia de carbonatos (ver el artículo ["Del cálido Venus..."] en la página 170 de este mismo número).

*Interpretación:* ¿Una playa oceánica, o la ribera de una laguna? En los primeros años del siglo XXI, una gran mayoría de los especialistas en Marte comenzaron a aceptar que cuerpos de agua estables habían llenado en diferentes épocas la depresión que ocupa el tercio norte del planeta. Sin embargo, la situación de las líneas de costa de estos océanos, mares o lagos marcianos siguieron siendo objeto de debate. En 1997, Edgett y Parker propusieron para Oceanus Borealis (el apelativo con que Baker *et al.* habían bautizado en 1991 el primero y mayor de los océanos marcianos) una línea de costa que pasaba precisamente por Meridiani Planum; pero en 1999, Head *et al.* descartaron esta línea porque su cota tenía desniveles de hasta 2.000 metros. Sin embargo, en 2003 el argumento inicial fue retomado por Alberto Fairén y colaboradores, con nuevos datos como la cartografía de

los canales, que se interrumpen precisamente en esta zona (Figura 11). Este grupo precisó que Oceanus Borealis pudo durar casi mil millones de años, desde 4.400 hasta unos 3.500 Ma.

En la Conferencia Lunar y Planetaria celebrada en Marzo de 2004, el director científico de la misión *Mars Exploration Rovers*, Steven Squyres, proclamó que el robot *Opportunity* había aterrizado precisamente en la costa del océano marciano. Si ello se confirma en el futuro, habrá que volver a celebrar a la diosa casualidad como una de las grandes contribuyentes a los hallazgos científicos, ya que el punto de aterrizaje tuvo una desviación de 24 km con respecto al previsto en el diseño de la misión.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baker, V.R., Strom, R.G., Gulick, V.C., Kargel, J.S., Komatsu, G. y Kale, V.S. (1991). Ancient oceans, ice sheets and the hydrological cycle on Mars. *Nature*, 352, 589-594.
- Christensen, P.H. et al. (2000). Detection of crystalline hematite mineralisation on Mars by the Thermal Emission Spectrometer: Evidence for near-surface water. *J. Geophys. Res.*, 105-E4, 9623-9642.
- Edgett, K.S. y Parker, T.J. (1997). Water on early Mars: posible subaqueous sedimentary deposits covering ancient cratered terrain in western Arabia and Sinus Meridiani. *Geophys. Res. Lett.*, 24, 2897-2900.
- Fairén, A.G., Dohm, J.M., Baker, V.R., de Pablo, M.A., Ruiz, J., Ferris J.C. y Anderson, R.C. (2003). Episodic flood inundation of the northern plains of Mars. *Icarus*, 165, 53-67.
- Head, J.W., Hiesinger, H., Ivanov, M.A., Kreslavsky, M.A., Pratt, S. y Thomson, B.J. (1999). Possible ancient oceans on Mars: evidence from Mars Orbiter Laser Altimeter data. *Science*, 286, 2134-2137. ■

FRANCISCO ANGUITA  
Facultad de Ciencias Geológicas  
Universidad Complutense

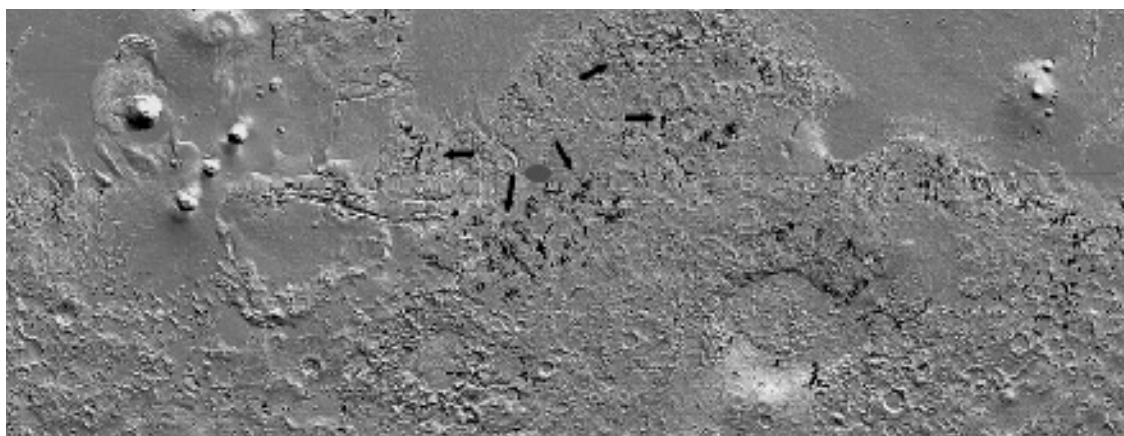


Fig. 11. Mapa topográfico de las latitudes medias de Marte, con la situación del PIG marcada por un óvalo oscuro. Las flechas señalan la línea de costa del gran océano marciano propuesto por Fairén *et al.* Nótese los pequeños canales (líneas negras) que acaban en esa zona.